

学校编码: 10384

密级_____

学号: 22420071150816

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

厦门筴筴湖浮游生物生态学研究

Ecological research of plankton in Yundang Lagoon,
Xiamen

黄彬彬

指导教师姓名: 郭 东 晖 助 理 教 授

专 业 名 称: 海 洋 生 物 学

论文提交日期: 2 0 1 0 年 0 9 月

论文答辩时间: 2 0 1 0 年 0 9 月

2010 年 8 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

()1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

()2. 不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人(签名)：

年 月 日

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	IV
第一章 绪 论	1
1.1 泻湖的基本概念.....	1
1.2 泻湖的富营养化.....	2
1.2.1 泻湖的富营养化与浮游生物.....	3
1.3 小型浮游动物对浮游植物的摄食.....	6
1.3.1 稀释法原理.....	6
1.3.2 关于稀释法假设的讨论及其改进和应用.....	7
1.4 厦门筴筴湖研究概况.....	8
1.4.1 筴筴湖概况.....	8
1.4.2 筴筴湖研究概况.....	9
1.4.3 本研究的背景和意义.....	10
1.4.4 本研究的主要内容.....	11
第二章 筴筴湖浮游植物的群落结构	12
第一节 材料与方法.....	12
1.1 采样站位的设置.....	12
1.2 样品采集和固定.....	13
1.3 浮游植物的分析和数据处理.....	13
第二节 结 果.....	14
2.1 筴筴湖浮游植物的群落特征.....	14
2.2 筴筴湖浮游植物密度的时空变化.....	16
2.3 筴筴湖浮游植物优势种、多样性、均匀度和单纯度.....	21
第三节 讨 论.....	26
3.1 筴筴湖浮游植物的总体特征.....	26
3.2 浮游植物与水温之间的关系.....	26
3.3 浮游植物与营养盐之间的关系.....	27

3.4 浮游植物群落更替.....	28
3.5 浮床种植对筲箕湖浮游植物群落的影响.....	31
3.6 与周边海域和历史资料的比较.....	31
附 录 1.....	34
第三章 筲箕湖浮游动物的群落结构	38
第一节 材料和方法.....	38
1.1 样品采集与保存.....	38
1.2 数据处理.....	38
第二节 结 果.....	39
2.1 筲箕湖浮游动物的群落特征.....	39
2.2 筲箕湖浮游动物丰度的时空分布.....	41
2.3 筲箕湖浮游动物优势种、多样性、均匀度和单纯度.....	45
第三节 讨 论.....	49
3.1 筲箕湖浮游动物与水温的关系.....	49
3.2 与浮游植物的关系.....	51
3.3 与周围海域的比较.....	53
附 录 2.....	56
第四章 筲箕湖小型浮游动物群落结构和摄食率的研究	61
第一节 材料和方法.....	61
1.1 样品采集和分析.....	61
1.2 小型浮游动物的摄食.....	61
1.3 数据处理.....	62
第二节 结 果.....	63
2.1 筲箕湖小型浮游动物类群组成和丰度.....	63
2.2 小型浮游动物的多样性、单纯度和均匀度.....	66
2.3 筲箕湖(干渠)小型浮游动物摄食的研究.....	68
第三节 讨 论.....	72
3.1 筲箕湖小型浮游动物的群落结构.....	72
3.2 影响筲箕湖小型浮游动物分布的主要因素.....	73

3.3 小型浮游动物的摄食对筲箕湖浮游植物爆发的控制作用.....	74
3.4 与其它研究的比较.....	76
附 录 3.....	78
第五章 结 语	80
参考文献.....	83
致 谢.....	96

厦门大学博硕士论文摘要库

Contents

Abstract (in Chinese)	I
Abstract (in English)	IV
Chapter 1. Introduction	1
1.1 Conception of lagoon	1
1.2 Eutrophication of lagoon	2
1.2.1 Plankton in eutrophic lagoons	3
1.3 Grazing impact of microzooplankton on phytoplankton	6
1.3.1 Principle of dilution method	6
1.3.2 Hypothesis of dilution method and its modification and application	7
1.4 Research on Yundang lagoon Xiamen	8
1.4.1 Introduction of Yundang lagoon	8
1.4.2 Historical research on Yundang lagoon	9
1.4.3 Background and objective of the research	10
1.4.4 Main contents of the research	11
Chapter 2. Community structure of phytoplankton	12
Section 1. Materials and methods	12
1.1 Sampling stations	12
1.2 Sampling and fixation	13
1.3 Identification of phytoplankton and data analysis	13
Section 2. Results	14
2.1 Characteristics of phytoplankton community	14
2.2 Spatio-temporal variation of phytoplankton density	16
2.3 Dominant species, diversity, evenness, and simplicity of phytoplankton	21
Section 3. Discussion	26
3.1 Characteristics of phytoplankton community	26
3.2 Correlation between phytoplankton and water temperature	26
3.3 Correlation between phytoplankton and nutrients	27

3.4 Succession of phytoplankton community	28
3.5 Impact of planted float on phytoplankton community.....	31
3.6 Comparison with adjacent waters and historical data.....	31
Appendix 1	34
Chapter 3. Structure of zooplankton community.....	38
Section 1. Materials and methods	38
1.1 Sampling and fixation	38
1.2 Data analysis	38
Section 2. Results.....	39
2.1 Characteristics of zooplankton community	39
2.2 Spatio-temporal variation of zooplankton abundance	41
2.3 Dominant species, diversity, evenness, and simplicity of zooplankton...	45
Section 3. Discussion	49
3.1 Correlation between zooplankton and water temperature	49
3.2 Correlation with phytoplankton	51
3.3 Comparison with adjacent waters	53
Appendix 2	56
Chapter 4. Structure of microzooplankton community and grazing rate of microzooplankton	61
Section 1. Materials and methods	61
1.1 Sampling and identification	61
1.2 Grazing impact of microzooplankton	61
1.3 Data analysis	62
Section 2. Results.....	63
2.1 Community composition and abundance of microzooplankton	63
2.2 Diversity, evenness, and simplicity of microzooplankton	66
2.3 Grazing impact of microzooplankton in the main canal.....	68
Section 3. Discussion	72
3.1 Characteristics of microzooplankton community	72

3.2 Factors effecting the distribution of microzooplankton.....	73
3.3 Controlling on phytoplankton blooms by microzooplankton grazing	74
3.4 Comparison with other research	76
Appendix 3.....	78
Chapter 5. Conclusion.....	80
References.....	83
Acknowledgements.....	96

摘 要

近年来,近海生态系统的富营养化问题日益严重,引起大众的广泛关注。本文以泻湖型的厦门筭筭湖为例,于2008年5月-2010年4月两年间通过逐月采样调查,系统地研究了富营养化水体中浮游生物的种类组成、数量以及时空分布;2009年11月、12月以及2010年2月、5月采用现场稀释法研究了干渠小型浮游动物对浮游植物的摄食率。研究结果可为湖区的生物监测和生态修复工程提供基础的资料。主要研究结果如下:

1. 浮游植物的群落结构

- (1) 湖区共鉴定浮游植物124种,其中硅藻81种,甲藻19种,绿藻12种,蓝藻7种,裸藻4种,金藻1种,以广温广盐的种类最为常见,中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、聚生角毛藻(*Chaetoceros socialis*)、原甲藻(*Prorocentrum* sp.)是湖区主要的赤潮种类,2008年10月还爆发过一次裸藻(*Euglena* sp.)的赤潮。
- (2) 2008年5月-2009年4月,湖区浮游植物年平均密度为 7.90×10^6 cell/L,10月最高(3.47×10^7 cell/L),5月最低(8.57×10^4 cell/L);2009年5月-2010年4月,湖区浮游植物年平均密度为 1.10×10^7 cell/L,6月最高(8.42×10^7 cell/L),11月最低(7.85×10^4 cell/L)。季节分布上,以2009年春季密度最高(3.40×10^7 cell/L),2009年秋季最低(1.14×10^5 cell/L)。水平分布上,各站位浮游植物年平均密度以干渠最高。
- (3) 湖区浮游植物群落的多样性(0.07-3.54)和均匀度(0.01-0.64)不高,而单纯度(0.14-0.99)和优势种的优势度较高,优势种更替频繁,表明筭筭湖浮游植物群落种类组成较为单一,结构不稳定。
- (4) 湖区浮游植物密度(cell/L)与无机磷浓度(mg/L)之间呈极显著的负相关关系($r = -0.599$, $n = 19$, $p < 0.01$)。

2. 浮游动物的群落结构

- (1) 湖区共记录浮游动物(不包括原生动物)84种,浮游幼体25类,其中桡足类48种,水母类22种。主要优势种包括浮游幼体中的蔓足类无节幼体(Nauplius larvae of Cirripedia)、多毛类幼体(Polychaeta larvae),桡足类中的强额孔雀哲水蚤(*Parvocalanus crassirostris*)、厦门矮隆哲水蚤(*Bestiolina*

amoyensis)、太平洋纺锤水蚤(*Acartia pacifica*)以及被囊类的异体住囊虫(*Oikopleura dioica*)。

- (2) 2008 年 5 月-2009 年 4 月, 湖区浮游动物丰度变化呈双峰型, 年平均丰度为 2310.19 ind/m^3 , 7 月最高(6747.92 ind/m^3), 11 月最低(284.58 ind/m^3); 2009 年 5 月-2010 年 4 月, 浮游动物丰度变化呈三峰型, 年平均丰度为 4446.94 ind/m^3 。浮游动物丰度夏季显著高于其它季节, 从夏季到冬季, 浮游动物群落从以浮游幼体为主的模式逐渐向以浮游幼体和桡足类共同为主或以桡足类为主的模式转变。水平分布上, 2008 年 5 月-2009 年 4 月以干渠平均丰度最低; 2009 年 5 月-2010 年 4 月, 以内湖平均丰度最低。
- (3) 2008 年 5 月-2009 年 4 月, 湖区浮游动物多样性、均匀度和单纯度指数平均值分别为 3.05、0.63 和 0.20; 2009 年 5 月-2010 年 4 月分别为 3.28、0.62 和 0.18。
- (4) 浮游动物丰度与表层水温呈极显著的正相关关系($r = 0.543, n = 24, p < 0.01$), 与浮游植物密度也呈极显著的正相关关系($r = 0.604, n = 24, p < 0.01$)。

3. 小型浮游动物的群落结构

- (1) 湖区共鉴定小型浮游动物 41 种, 其中原生动物 38 种。小型浮游动物组成以无壳纤毛虫为主, 主要优势种为绿急游虫(*Strombidium viride*)、中缢虫(*Mesodinium* spp.)、尾丝虫(*Uronema* sp.)、近亲游仆虫(*Euplotes affinis*)等。
- (2) 2008 年 5 月-2009 年 4 月, 湖区小型浮游动物年平均丰度为 $5.79 \times 10^4 \text{ ind/L}$, 7 月最高($1.54 \times 10^5 \text{ ind/L}$), 2 月最低($5.16 \times 10^3 \text{ ind/L}$); 2009 年 5 月-2010 年 4 月, 平均丰度为 $5.26 \times 10^4 \text{ ind/L}$, 7 月最高($2.63 \times 10^5 \text{ ind/L}$), 5 月最低($8.30 \times 10^2 \text{ ind/L}$)。水平分布方面, 湖区各站位中以干渠年平均丰度最高。
- (3) 小型浮游动物群落多样性和均匀度较低, 单纯度高, 2008 年 5 月-2009 年 4 月和 2009 年 5 月-2010 年 4 月多样性指数年平均值仅为 1.04 和 1.34, 单纯度年平均值分别为 0.61 和 0.52, 反映了群落种类组成单一, 湖区富营养化严重。
- (4) 食物是影响筲箕湖小型浮游动物分布的主要因素。与浮游植物相关性分析

显示, 小型浮游动物丰度与甲藻密度的相关性最高($r = 0.618$, $n = 24$, $p < 0.01$), 其次为绿藻($r = 0.534$, $n = 24$, $p < 0.01$), 与硅藻之间没有显著的相关性。此外, 与 BOD_5 含量之间极显著的正相关关系($r = 0.646$, $n = 18$, $p < 0.01$)表明有机污染对其分布也存在重要的影响。

4. 干渠小型浮游动物的摄食率

干渠浮游植物生长率在 2009 年 12 月最高, 为 1.11 d^{-1} ; 2009 年 11 月最低, 为 0.31 d^{-1} 。小型浮游动物的摄食率在 2010 年 5 月份最高, 为 0.81 d^{-1} ; 2009 年 12 月最低, 为 0.18 d^{-1} ; 小型浮游动物对浮游植物现存量的摄食压力范围在 16.08%-55.64%之间; 对浮游植物初级生产力的摄食压力范围在 24.03%-175.57% 之间。

关键词: 浮游生物; 群落结构; 时空分布; 摄食; 富营养化; 筓筓湖; 厦门

Abstract

Eutrophication of coastal ecosystems has been a hot spot under extensive discussion in recent years. Species composition, abundance variation and spatio-temporal distribution of plankton community in a eutrophic lagoon, Yundang Lagoon, Xiamen, were investigated from May 2008 to April 2010, using a monthly sampling method. The grazing rate of microzooplankton on phytoplankton was measured using a *in situ* dilution method in November, December 2009 and February, May 2010. The research aimed to provide elementary information to the biomonitoring and ecological restoration project of the lagoon. The main results were as follows:

1. Structure of phytoplankton community

- (1) 124 species were identified in Yundang lagoon, including Bacillariophyta (81), Pyrrophyta (19), Chlorophyta (12), Cyanophyta (7), Euglenophyta (4) and Chrysophyta (1). Most of dominant species were eurythermal and euryhaline. *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros socialis*, *Prorocentrum* sp. were main red tide organisms and *Euglena* sp. caused a red tide during October 2008.
- (2) Average annual density of phytoplankton reached 7.90×10^6 cell/L during the year May 2008 to April 2009, with the highest in October (3.47×10^7 cell/L) and lowest in May (8.57×10^4 cell/L). During the year May 2009 to April 2010, the average annual density was 1.10×10^7 cell/L, with the highest in June (8.42×10^7 cell/L) and lowest in November (7.85×10^4 cell/L). The seasonal variation showed the highest density in spring 2009 (3.40×10^7 cell/L) and the lowest value in autumn 2009 (1.14×10^5 cell/L). The main canal had the highest average annual density in the horizontal direction.
- (3) The diversity and evenness index of phytoplankton was low, with its range from 0.07 to 3.54 and from 0.01 to 0.64 respectively. The structure of the community was simple and vulnerable, indicated by a high simplicity index, ranging from 0.14 to 0.99, and frequent changing of dominant species.
- (4) A significant negative correlation was figured out between phytoplankton

density (cell/L) and concentration of inorganic phosphate (mg/L) ($r = -0.599$, $n = 19$, $p < 0.01$).

2. Structure of zooplankton community

- (1) 84 zooplankton species, not including protozoa, and 25 groups of merozooplankton larvae were recorded, among which 48 copepod species and 22 species of medusa were identified. The main dominant species can be divided into three groups, including nauplius larvae of Cirripedia, Polychaeta larvae belonging to planktonic larvae, *Parvocalanus crassirostris*, *Bestiolina amoyensis* and *Acartia pacifica* belonging to Copepoda and *Oikopleura dioica* belonging to Tunicate.
- (2) The annual fluctuation of zooplankton abundance showed a bimodal pattern with its average annual value of 2310.19 ind/m³ during the year May 2008 to April 2009, with its highest value in July (6747.92 ind/m³) and lowest in November (284.58 ind/m³). The fluctuation pattern during the year May 2009 to April 2010 showed a three-peaks model, with its average annual value of 4446.94 ind/m³. With the highest abundance in summer, zooplankton community showed a shift from dominated by planktonic larvae in summer to co-dominated by planktonic larvae and copepod in low water temperature seasons. Horizontally, the main canal had the lowest average annual abundance during the year May 2008 to April 2009 and the inner lagoon during the year May 2009 to April 2010.
- (3) The average value of diversity, evenness, and simplicity index of zooplankton were 3.05, 0.63, 0.20 and 3.28, 0.62, 0.18 during the two investigating periods.
- (4) Zooplankton abundance positively correlated with phytoplankton density ($r = 0.604$, $n = 24$, $p < 0.01$) and surface water temperature ($r = 0.543$, $n = 24$, $p < 0.01$).

3. Structure of microzooplankton community

- (1) 41 microzooplankton species were recorded in Yundang lagoon, including 38 species of protozoa. The most abundant species were naked ciliates, such as *Strombidium viride*, *Mesodinium* spp., *Uronema* sp. and *Euplotes affinis* etc.

- (2) Average annual abundance of microzooplankton reached 5.79×10^4 ind/L during the year May 2008 to April 2009, with the highest value in July (1.54×10^5 ind/L) and lowest in February (5.16×10^3 ind/L). During the year May 2009 to April 2010, the average annual value was 5.26×10^4 ind/L, with the highest value in July (2.63×10^5 ind/L) and lowest in May (8.30×10^2 ind/L). The main canal had the highest average annual abundance in the lagoon region.
- (3) Low diversity and evenness index, combined with high simplicity index, revealed that community of microzooplankton was simple in species composition and the lagoon was in a severe eutrophication situation.
- (4) Food was the main factor affecting the distribution pattern of microzooplankton. The abundance of microzooplankton showed a positive correlation with Pyrrophyta group ($r = 0.618$, $n = 24$, $p < 0.01$) as well as Chlorophyta group ($r = 0.534$, $n = 24$, $p < 0.01$), but no significant correlation with Bacillariophyta group. Organic pollution also played an important role in regulating the microzooplankton community.
4. Grazing impact of microzooplankton on phytoplankton in the main canal
- The growth rate of phytoplankton in the canal ranged from 0.31 d^{-1} to 1.11 d^{-1} , which reached its maximum value in December 2009 and minimum value in November 2009. The grazing rate of microzooplankton varied between 0.18 d^{-1} and 0.81 d^{-1} with the highest value in May 2010 and lowest in December 2009. Microzooplankton grazing impact ranged from 16.08% to 55.64% on phytoplankton standing stocks and 24.03% to 175.57% on primary production.

Key Words: Plankton; Community structure; Spatio-temporal variation; Grazing; Eutrophication; Yundang lagoon; Xiamen

第一章 绪 论

浮游生物是海洋生产力的基础,是海洋生态系统能量流动和物质循环的最主要环节,在海洋食物链/网中具有举足轻重的地位。浮游植物通过光合作用将无机碳转化为有机碳,成为海洋主要有机物的初级生产者;而浮游动物则通过摄食浮游植物,将初级生产力转化为次级生产力,自身又被其他动物所利用,如此层层级级通过海洋生态系统,形成能量流动和物质循环。

1.1 泻湖的基本概念

泻湖是海洋和沿海陆地之间发育出来的浅水生态系统,占世界海岸线长度的13%(Barnes, 1980)。根据 Phleger 的定义,沿海泻湖是指位于陆地上但与海岸平行的海洋浅水地带,它由沙洲、海堤等与外海相隔开,通过一个或几个水道与海洋相通(Phleger, 1969)。与海湾、河口等近海生态系统类型一样,泻湖具有很高的初级和次级生产力,是渔业、农业、旅游业等密集的地区(Boynton *et al.*, 1982; Gilabert, 2001)。然而由于营养加富导致的近海富营养化已经成为世界范围内受到广泛讨论的问题(Nixon, 1995)。其中,泻湖因为水体较小而且与外海水交换有限,生态环境面临严峻挑战,尤其在低纬度地区,富营养化造成的影响比高纬度地区更为严重(Downing *et al.*, 1999)。

泻湖生态系统受到海洋和陆地双重作用的影响,与周围环境的关系错综复杂,除此之外,泻湖也发展了自身特有的结构以及与之相关的功能和作用机制。按照泻湖的开放程度,大致分为三种类型:封闭型、半封闭型和开放型(Kjerfve, 1986)。三种不同类型的泻湖具有各自的特点:

(1) 封闭型泻湖

封闭型泻湖只通过一条狭窄的水道与外海相通,多数时间与外海隔绝,所以与沿海地区相比潮汐很弱。封闭型泻湖的特点是:水体交换时间长,水循环和混合过程主要是在风场主导下完成的,蒸发和径流输入是湖区层化作用的主要动力来源(Kjerfve, 1986; Kjerfve & Magill, 1989)。换言之,天气的变化往往会导致

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库